

EVALUACIÓN Y PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO AL PROCESO DE MEZCLADO Y  
ENVASADO DE JABONES LÍQUIDOS DE LA EMPRESA SU PEDIDO SAS

AUTOR: SEBASTIÁN SALAZAR LÓPEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

2020

ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO AL PROCESO DE MEZCLADO Y  
ENVASADO DE JABONES LÍQUIDOS DE LA EMPRESA SU PEDIDO SAS

AUTOR: SEBASTIÁN SALAZAR LÓPEZ

Director: Juan Esteban Tibaquirá Giraldo

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

2020

## Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Juan Esteban Tibaquirá Giraldo

Decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica

---

Juan Esteban Tibaquirá Giraldo

Director y Evaluador

Pereira, Risaralda Agosto de 2020

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradecer a la empresa Su Pedido SAS por brindarme la oportunidad y las herramientas necesarias para llevar a cabo este proyecto. A mi jefe en la empresa, Andrés Botero por confiar en mí y en mis capacidades, y en general al personal de trabajo de la empresa

Especial agradecimiento con Dios, mi familia, amigos, compañeros de universidad y todos los docentes que participaron en este proyecto y en mi formación universitaria, incluyendo a Juan Esteban Tibaquirá, quien fue mi docente guía.

## **DEDICATORIA**

A mi familia, quienes siempre me han apoyado incondicionalmente y me han brindado su amor y comprensión durante toda mi vida.

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	9
2. METODOLOGÍA .....	10
3. RESULTADOS .....	14
3.1. LLENADO DE AGUA .....	14
3.2 Mezclado .....	17
3.3 ENVASADO .....	25
3.3.1 Lavado de Envases .....	28
3.4 MEDICIÓN DE ph.....	28
3.5 CODIFICADO .....	30
3.6 RESULTADOS EN EL PROCESO GLOBAL .....	31
3.7 PRESUPUESTO EJECUTADO POR LA EMPRESA.....	33
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	34
4.1 CONCLUSIONES .....	34
4.2 RECOMENDACIONES .....	35
Bibliografía.....	36

## TABLA DE LAS TABLAS

Tabla 1. Tiempo de llenado del tanque con agua y su costo operativo al inicio de la práctica con la desionizadora.....	15
Tabla 2. Tiempo de llenado del tanque y su costo operativo al final de la práctica con el sistema de filtros.....	17

Tabla 3. Ahorro de tiempo y monetario generado en el proceso de llenado de agua con las modificaciones ejecutadas .....	17
Tabla 4. Dimensiones para la figura 5.....	19
Tabla 5. Tiempos y costos del detergente al inicio de la práctica .....	19
Tabla 6. Tiempos y costos del jabón líquido al inicio de la práctica .....	20
Tabla 7. Dimensiones para la figura 8.....	22
Tabla 8. Tiempos y costos de mezclado del detergente después de las modificaciones iniciales ..	22
Tabla 9. Tiempos y costos de mezclado del jabón líquido después de las modificaciones iniciales .....	22
Tabla 10. Ahorros para el proceso de mezclado del detergente con la primera modificación en el agitador.....	22
Tabla 11. Ahorros para el proceso de mezclado de jabón líquido con la primera modificación del agitador.....	23
Tabla 12. Dimensiones para la figura 10.....	24
Tabla 13. Tiempos y costos del proceso de mezclado de jabón líquido después de las segundas modificaciones .....	24
Tabla 14. Ahorros en el proceso de mezclado de jabón líquido con las segundas modificaciones	25
Tabla 15. Tiempos y costos para envases de 1 litro .....	26
Tabla 16. Tiempos y costos para envases de 5 litros .....	26
Tabla 17. Tiempos y costos para envases de 20 litros .....	26
Tabla 18. Recursos invertidos en el lavado de botellas de 1 litro .....	28
Tabla 19. Tiempo de respuesta a inicio y fin de la práctica .....	31
Tabla 20. Ahorro generado en el tiempo de respuesta .....	32
Tabla 21. Costos operativos al inicio de la práctica.....	32
Tabla 22. Costos operativos al final de la práctica.....	32
Tabla 23. Ahorro generado en el costo operativo .....	32
Tabla 24. Gastos por concepto de modificaciones y adquisición de equipos .....	33

## **TABLA DE LAS FIGURAS**

Figura 1. Máquina desionizadora .....	15
Figura 2. Primera etapa del sistema de filtrado .....	16
Figura 3. Segunda etapa del sistema de filtrado.....	16
Figura 4. Primer agitador .....	18
Figura 5. Dimensiones y ubicación del agitador al inicio de la práctica.....	19
Figura 6. Segundo agitador .....	20
Figura 7. Segundo agitador .....	21

Figura 8. Dimensiones y ubicación del segundo agitador en el tanque .....	21
Figura 9. Tercer agitador. Agitador tipo turbina de palas inclinadas a 45 grados .....	23
Figura 10. Dimensiones y ubicación del tercer agitador en el tanque.....	24
Figura 11. Sistema manual utilizado para dosificar en producto en los envases .....	27
Figura 12. Medidor de pH EDGE de Hanna Instruments .....	29
Figura 13. Máquina loteadora HP 280 utilizada en la empresa .....	30

## **TABLA DE LOS ANEXOS**

Anexo A. Sistema de bombeo planteado para la empresa .....	39
Anexo B. Curva cabeza contra caudal para la bomba centrífuga de la empresa.....	41
Anexo C. Diagrama de Moody .....	43
Anexo D. Tabulación para Q y Hsist. ....	45
Anexo E. Propiedades para los productos fabricados .....	46
Anexo F. Diagrama para seleccionar el tipo de agitador .....	46
Anexo G. Dimensionamiento para un agitador general .....	47
Anexo H. Número de agitadores necesarios según la aplicación y la relación (Z/T). ....	49
Anexo I. Número de potencia contra número de Reynolds para distintos agitadores tipo turbina	51
Anexo J. Condiciones para distintas velocidades de operación para jabón líquido.....	53
Anexo K. Placa del motorreductor adquirido.....	53
Anexo L. Ficha técnica del medidor de pH adquirido .....	54



## 1. INTRODUCCIÓN

Este documento se realiza con el fin de plantear una propuesta de proyecto a la Facultad de Ingeniería Mecánica, para optar por el título de ingeniero mecánico bajo la modalidad de práctica de extensión.

El proyecto se llevó a cabo en la empresa SU PEDIDO SAS localizada en el municipio de Dosquebradas. Esta empresa está dedicada a la fabricación de productos de aseo tales como: limpiavidrios, desengrasante, limpia pisos y jabón lava loza en crema y líquido. La empresa se clasifica como una pequeña empresa con un total de cinco empleados y con una producción mensual de entre 3100 y 4700 kilogramos de productos líquidos.

La empresa ha identificado la necesidad de mejorar su proceso de mezclado y envasado de jabones líquidos, por lo cual solicitó a la Universidad Tecnológica de Pereira apoyo a través de un estudiante de ingeniería mecánica en práctica universitaria.

De tal forma, la práctica universitaria se enfocó en el análisis y la generación de propuestas de mejoramiento para el área de producción de líquidos de esta empresa (etapas de llenado, mezclado y envasado). Inicialmente se propuso evaluar el funcionamiento de la máquina purificadora de agua para usar como materia prima y de la mezcladora principal para productos líquidos; esto para identificar y proponer modificaciones para mejorar tales secciones. Adicionalmente, se propuso estudiar el proceso de envasado con el fin de plantear alternativas de automatización para este. Para las etapas intervenidas, se debían generar indicadores de producción antes y después de ejecutar las propuestas, esto permite evaluar su impacto [1].

En esta propuesta se presenta una descripción del problema, los objetivos planteados durante la práctica, la metodología que se empleó para la solución del problema, el presupuesto para adquisición de productos y sus proyecciones a futuro, y las referencias bibliográficas que hacen parte del presente documento.

## 2. METODOLOGÍA

El proyecto tuvo inicio con investigación de campo, con el fin de fomentar el aprendizaje y análisis (funcionamiento, estado y mantenimiento) de la maquinaria y planta de producción de la sección de líquidos, para posteriormente caracterizar tal sector de la empresa y obtener indicadores de producción. Algunas de las herramientas que se utilizaron en el desarrollo de este proyecto fueron: SOLIDWORKS y Autodesk Inventor Professional.

Analizando la línea de producción se determinó que los cuellos de botella eran las etapas de llenado del tanque con agua y el mezclado de materias primas. Debido a esto, tales etapas debieron ser intervenidas prioritariamente.

Estudiando el llenado de agua del tanque mezclador, se puede evidenciar que el tiempo implicado es demasiado prolongado, lo cual hace el proceso ineficiente, por lo tanto, se propuso:

- Para productos viscosos como lo son el jabón lava loza y el detergente, desistir del uso de la máquina desionizadora y en su lugar utilizar únicamente las torres de prefiltración para eliminar las impurezas del agua proveniente del acueducto local; estos garantizan un estado adecuado del agua para utilizar como insumo. Además, este sistema de prefiltración ayuda a que el tiempo de llenado del tanque se reduzca considerablemente.
- Realizando una proyección a futuro, cuando la capacidad de producción de la empresa sea mucho mayor, se sugiere almacenar el agua filtrada en tanques auxiliares para después trasegarla en pocos minutos al tanque mezclador empleando un sistema de bombeo accionado por una bomba centrífuga.

Posteriormente se consultó la literatura sobre tanques mezcladores y agitadores para comprobar que los equipos utilizados en la empresa cumplieran con las características que realmente se necesitan para los productos trabajados. Como complemento a la información obtenida, se

solicitaron asesorías personalizadas a fabricantes de maquinaria relacionada. Una vez obtenida la información más detallada, se realizó un análisis para detectar debilidades, fortalezas y oportunidades, y en base a esto, proponer mejoras para el proceso. Las propuestas realizadas debían estar soportadas por teoría y/o asesorías para ser planteadas en la empresa. Algunas de las modificaciones propuestas fueron:

- Reemplazar el agitador, debido a que el que se tenía, no cumplía con las especificaciones recomendadas para realizar la mezcla de los productos. Se siguieron las recomendaciones de diseño propuestas en [2] y [3] y por la empresa NOVATEC.
- Trabajar con el eje del agitador descentrado e inclinado para mejorar la eficiencia de mezclado [3].
- Implementar un motorreductor para generar la mezcla debido a que usando el sistema variador de frecuencia-motor, se disminuye demasiado el torque entregado por el motor debido a que se modifica en gran medida la frecuencia nominal de este para obtener la velocidad de rotación requerida para la aplicación. Adicionalmente, el sistema de refrigeración del motor no trabaja adecuadamente ya que este está diseñado para operar con la frecuencia nominal del mismo [4].

Cuando las modificaciones llegaban a la etapa de ejecución, el proceso era sometido a toma de tiempos para obtener indicadores de producción, y haciendo un contraste con los indicadores iniciales, comprobar el impacto de tales decisiones. Por medio de la información obtenida por estos indicadores, se realizaba retroalimentación del proceso y se procedía a decidir si las modificaciones pasaban o no a ser definitivas.

Una vez intervenido este proceso, se estudió el sistema de envasado actual (manual) además de realizar toma de tiempos de este, para generar indicadores. El sistema de envasado manual es poco eficiente ya que demanda más tiempo que una máquina; además para las presentaciones de 1L, del producto, normalmente el nivel de líquido rebosa el recipiente al final del dosificado, lo

que genera pérdidas de producto final, además de requerir un proceso de limpieza adicional para los recipientes antes de ser etiquetados. Se solicitó información a fabricantes acerca de equipos semiautomatizados que cumplan con las siguientes características

- La envasadora debe contar con un sistema que evite la generación de espuma en el envasado, sin sacrificar el tiempo de dosificado. Para esto se puede implementar un sistema en el que la boquilla entre hasta el fondo de la botella, y comience a salir paulatinamente a medida que el nivel de líquido dentro de la botella aumente. Además, se puede trabajar con una línea de retorno, que lleve la espuma generada hasta el tanque principal, inyectándola nuevamente por el fondo de este. El sistema debe trabajar correctamente con productos viscosos, como el jabón y el detergente, y con productos no viscosos como el desinfectante de superficies.
- Debido a que el tanque no se puede elevar más con respecto al suelo por cuestiones de infraestructura de la planta, la alimentación de la envasadora no puede realizarse por gravedad, por tanto, se debe trabajar con una bomba especial (engranajes, peristáltica o de diafragma) para realizar esta labor, pero evitando aumentos en la generación de espuma.
- La máquina debe permitir como mínimo el dosificado para presentaciones desde 0,5L hasta 5L y si es posible bidones de 20L, sin embargo, para estos últimos no habría problema en seguir realizando el envase de manera manual ya que, por sus dimensiones, presentan poca complejidad.
- Inicialmente el equipo debe tener entre una y tres boquillas dosificadoras, ya que esta configuración representa el equilibrio entre las necesidades de producción y economía que afronta la empresa. Sin embargo, se requiere que el equipo presente la opción de soportar más boquillas a futuro, para aumentar la capacidad de producción si la empresa así lo requiere.

Finalmente se pretende estructurar un proyecto para presentarse a alguna fuente de financiación externa para adquirir los equipos recomendados por los fabricantes. En el momento en el que se

realicen modificaciones a esta etapa de envasado, se debe estudiar nuevamente el mismo, para obtener indicadores de producción y evaluar el impacto de las modificaciones. Para esta etapa del proyecto, se estudiaron las propuestas planteadas por distintos fabricantes de equipos envasadores, con lo cual, se tomó la decisión de trabajar con una empresa local para abordar este problema. Se inició la fase de realización de pruebas con los productos de la empresa a fin de estudiar el comportamiento de estos con el sistema recomendado.

Este proceso fue apoyado por el docente guía, otros docentes de la Universidad Tecnológica de Pereira, documentos de investigación de procesos similares y asesores de empresas fabricantes de los equipos utilizados en la empresa. Además, se presentaron avances periódicamente a la empresa y a la oficina de prácticas de la Universidad.

### **3. RESULTADOS**

En este proyecto se trabajó específicamente con la producción de detergente y jabón líquido lava loza. La cadena de producción comienza en la zona de almacenaje de materias primas, de allí se extraen las cantidades de materia prima requeridas según la fórmula de la empresa para el producto a fabricar; la siguiente etapa se desarrolla en la zona de mezcla, en donde se vierten todos los insumos en un tanque según un protocolo establecido y se mezclan con ayuda de un agitador mecánico accionado por un motor, en esta etapa se busca homogenizar la mezcla hasta lograr un pH predeterminado; una vez se llega a este valor de pH y añadidos todos los insumos, se procede a envasar el producto final en recipientes de presentaciones de 1 litro, 5 litros y 20 litros según la demanda; sigue el proceso de puesta de tapas, el cuál es totalmente manual; después sigue el proceso de etiquetado, en donde se pega de manera manual una etiqueta al recipiente, la cual contiene información sobre el producto, lote de fabricación y vías de contacto con la empresa; finalmente se trasladan los envases a la zona de almacenaje de producto terminado. A continuación, se explicarán las etapas del proceso de producción, además de dar información sobre sus estados inicial y final durante el desarrollo de la práctica y las modificaciones realizadas.

#### **3.1. LLENADO DE AGUA**

Para fabricar cualquiera de los productos, se requiere una cantidad determinada de agua como una de las principales materias primas, siendo esta la primera sustancia que se vierte en el tanque mezclador para diluir en ella el resto de las materias primas. Para un lote de producción de 450 litros de jabón líquido o detergente, el tanque se debe llenar con 380 litros de agua, esta proveniente del acueducto local, sin embargo, esta debe ser tratada para eliminar impurezas, con el fin de prevenir no conformidades en el producto final. Inicialmente el tratamiento del agua consistía en emplear un equipo de ósmosis inversa para generar un proceso de desionizado.



*Figura 1. Máquina desionizadora*

En la siguiente tabla se muestra el tiempo en que el sistema de ósmosis inversa tardaba al inicio de la práctica en purificar y llenar el tanque mezclador con 380 litros de agua, además de expresar su costo operativo por concepto de consumo energético.

*Tabla 1. Tiempo de llenado del tanque con agua y su costo operativo al inicio de la práctica con la desionizadora*

<b>Tiempo de llenado (h)</b>	<b>Costo operativo (COP)</b>
8,5	544,45

Según el equipo de producción de la empresa, la purificación del agua a utilizar no necesariamente debe ejecutarse por medio de un proceso tan complejo como el desionizado por ósmosis inversa, en el caso de productos viscosos como el jabón líquido y el detergente; en estas situaciones basta con utilizar una serie de filtros de agua. Por lo tanto, se expuso la situación a la empresa proveedora de la máquina desionizadora y se decidió adquirir e instalar otro sistema de

filtrado, presentado en la figura 2, para trabajar en conjunto con los filtros que estaban inicialmente trabajando con la máquina desionizadora, presentados en la figura 3.



*Figura 2. Primera etapa del sistema de filtrado*



*Figura 3. Segunda etapa del sistema de filtrado*



Con el nuevo sistema de purificación que consta de los filtros nuevos de la figura 2 y los filtros con los que se venía trabajando de figura 3, se realizó el llenado de 380 litros de agua del tanque mezclador. A continuación, se muestra el tiempo requerido para este proceso, además de su costo operativo por concepto de consumo energético.

*Tabla 2. Tiempo de llenado del tanque y su costo operativo al final de la práctica con el sistema de filtros*

<b>Tiempo de llenado (h)</b>	<b>Costo operativo (COP)</b>
0,75	0

El costo operativo por concepto de consumo energético es de cero, debido a que este nuevo sistema no requiere energía eléctrica para funcionar. Realizando un contraste entre las condiciones de llenado de agua del tanque mezclador al inicio (desionizadora) y fin de la práctica (filtros de agua), se pueden apreciar los ahorros generados tanto en tiempo como en dinero, gracias a la propuesta de cambio adoptada.

*Tabla 3. Ahorro de tiempo y monetario generado en el proceso de llenado de agua con las modificaciones ejecutadas*

<b>AHORRO</b>	<b>Tiempo de llenado (h)</b>	<b>Costo operativo (COP)</b>
	6,75	544,45

Teniendo en cuenta los ahorros generados, se decide que para los productos viscosos como el jabón líquido lava loza y el detergente, se seguirá tratando el agua únicamente con el sistema de filtrado compuesto por las figuras 2 y 3, y no con la máquina desionizadora.

Para las posibles situaciones en las que se necesite un rápido tiempo de respuesta entre un lote de producción y otro, se sugiere almacenar el agua filtrada en tanques auxiliares para luego trasegarla al tanque mezclador con ayuda de una bomba centrífuga disponible en la empresa. Para visualizar el sistema de bombeo propuesto (Ver anexo A).

### **3.2 MEZCLADO**

Esta etapa del proceso de producción tiene como fin homogenizar todas las sustancias presentes en el tanque, reflejándose este estado en una estabilización en el valor de pH. La mezcla se realiza con un agitador mecánico accionado por un motor eléctrico.

Al inicio de la práctica, en la empresa se venía trabajando con el agitador mostrado en la figura 4. De acuerdo con lo manifestado por el dueño de la empresa, el diseño de este agitador obedece parámetros empíricos y no ha sido diseñado teniendo en cuenta criterios técnicos.



*Figura 4. Primer agitador*

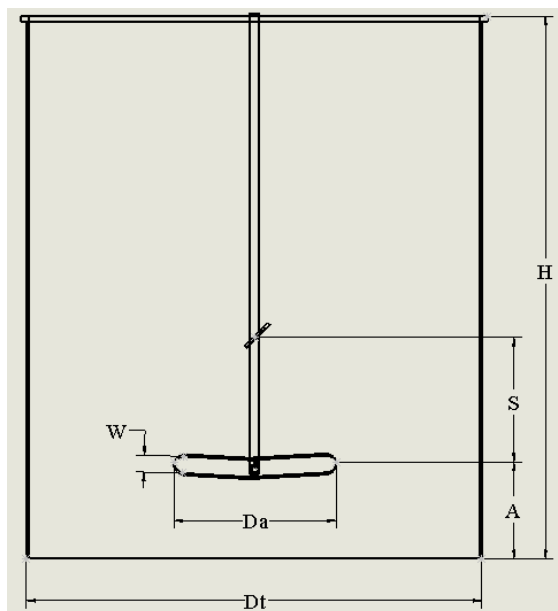


Figura 5. Dimensiones y ubicación del agitador al inicio de la práctica

Tabla 4. Dimensiones para la figura 5

H [mm]	A [mm]	S [mm]	Dt [mm]	Da [mm]	W [mm]
1030	190	150	860	300	38

A continuación, se muestra el tiempo de mezclado y los costos involucrados en la producción de un lote de 450 litros de jabón líquido y detergente para esta etapa del proceso. El costo por nómina tiene en cuenta la carga prestacional vigente al momento de realización de la práctica.

Tabla 5. Tiempos y costos del detergente al inicio de la práctica

Tiempo de mezclado (h)	5,17
Costo por nómina (COP)	\$ 28.869
Costo por energía eléctrica (COP)	\$ 2.889
Costo Total lote 450 L (COP)	\$ 31.758
Costo por litro (COP)	\$ 71

*Tabla 6. Tiempos y costos del jabón líquido al inicio de la práctica*

Tiempo de mezclado (h)	7,5
Costo por nómina (COP)	\$ 41.880
Costo por energía eléctrica (COP)	\$ 4.191
Costo Total lote 450 L (COP)	\$ 46.071
Costo por litro (COP)	\$ 102

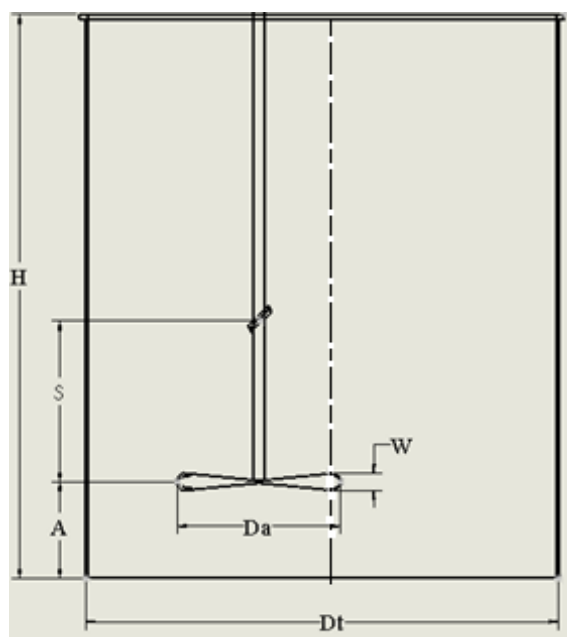
Como etapa inicial de las propuestas de mejora, se consultó información sobre la teoría de homogenización de mezclas de CASTILLO [2]; Mc. CABE, HARRIOTT y SMITH [3]; RINCÓN [5]; GUERRERO [6]. Además de solicitar recomendaciones de fabricantes. Con esta información, se presentaron propuestas de mejora. Primeramente, la decisión de los directivos de la empresa fue seguir parcialmente las recomendaciones, trabajando inicialmente con el agitador de la siguiente manera:



*Figura 6. Segundo agitador*



*Figura 7. Segundo agitador*



*Figura 8. Dimensiones y ubicación del segundo agitador descentrado 10 centímetros en el tanque*

Tabla 7. Dimensiones para la figura 8

H [mm]	A [mm]	S [mm]	Dt [mm]	Da [mm]	W [mm]
1030	130	170	860	300	510

Se fabricaron lotes de producto con esta configuración y los resultados obtenidos para tiempo y costos de operación fueron los siguientes:

Tabla 8. Tiempos y costos de mezclado del detergente después de las modificaciones iniciales

Tiempo de mezclado (h)	4,35
Costo por nómina (COP)	\$ 24.290
Costo por energía eléctrica (COP)	\$ 2.431
Costo Total lote 450 L (COP)	\$ 26.721
Costo por litro (COP)	\$ 59

Tabla 9. Tiempos y costos de mezclado del jabón líquido después de las modificaciones iniciales

Tiempo de mezclado (h)	4,17
Costo por nómina (COP)	\$ 23.285
Costo por energía eléctrica (COP)	\$ 2.330
Costo Total lote 450 L (COP)	\$ 25.615
Costo por litro (COP)	\$ 57

Comparando los resultados (Tablas 8 y 9) para esta configuración, con los con el sistema de mezclado al inicio de la práctica (tablas 5 y 6), se tiene que los ahorros generados en el proceso fueron los siguientes:

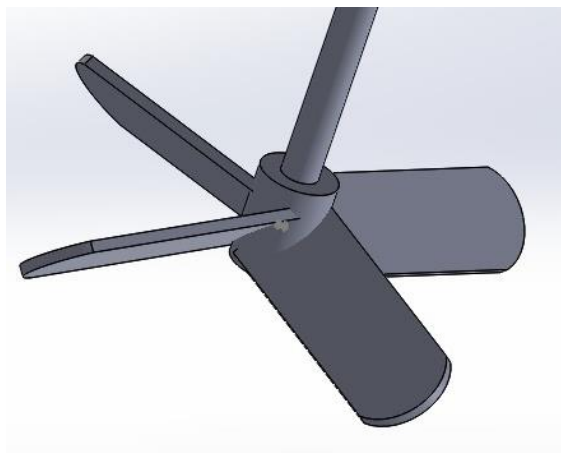
Tabla 10. Ahorros para el proceso de mezclado del detergente con la primera modificación en el agitador

	COP	%	Tiempo (h)	Tiempo (min)
<b>Ahorro en el lote</b>	\$ 5.037	15,86	0,82	49,2
<b>Ahorro por litro</b>	\$ 11	15,86	0,002	0,109

*Tabla 11. Ahorros para el proceso de mezclado de jabón líquido con la primera modificación del agitador*

	COP	%	Tiempo (h)	Tiempo (min)
<b>Ahorro en el lote</b>	\$ 20.455	44,40	3,330	199,800
<b>Ahorro por litro</b>	\$ 45	44,40	0,007	0,444

Como se puede evidenciar en la tabla 10 y en la tabla 11, se lograron ahorros de tiempo y dinero con las modificaciones ejecutadas, sin embargo, estos no eran lo suficientemente representativos a criterio de los directivos de la empresa, razón por la cual decidieron seguir de manera más estricta las recomendaciones propuestas. Por lo tanto, se decidió trabajar con un motorreductor de 2HP, el variador de frecuencia y un sistema de agitación de la siguiente manera (Ver cálculos efectuados en Anexos):



*Figura 9. Tercer agitador. Agitador tipo turbina de palas inclinadas a 45 grados*

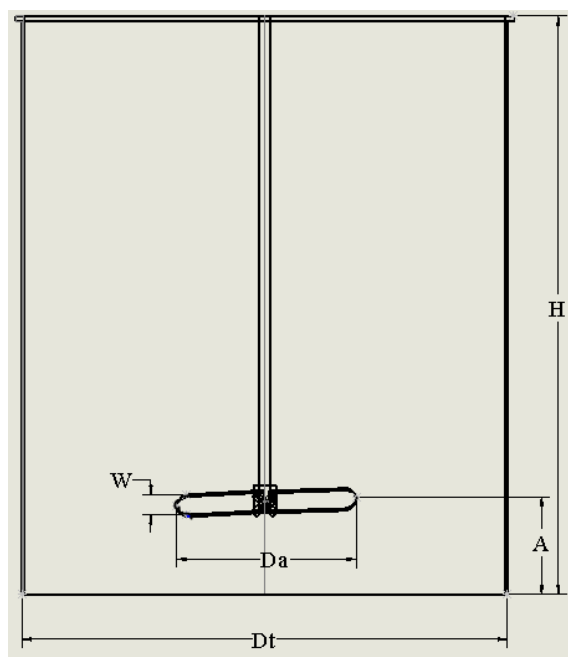


Figura 10. Dimensiones y ubicación del tercer agitador en el tanque

Tabla 12. Dimensiones para la figura 10

H [mm]	A [mm]	Dt [mm]	Da [mm]	W [mm]
1030	130	860	340	510

Esta configuración solo pudo ser puesta a prueba con un lote de 450 litros de jabón líquido lava loza y los resultados fueron los siguientes:

Tabla 13. Tiempos y costos del proceso de mezclado de jabón líquido después de las segundas modificaciones

Tiempo de mezclado (h)	1,83
Costo por nómina (COP)	\$ 10.219
Costo por energía eléctrica (COP)	\$ 1.714
Costo Total lote 450 L (COP)	\$ 11.932
Costo por litro (COP)	\$ 27

Comparando estos resultados (tabla 13), con los obtenidos al inicio de la práctica para el mismo producto (tabla 5), se tiene que los ahorros generados fueron los siguientes:



*Tabla 14. Ahorros en el proceso de mezclado de jabón líquido con las segundas modificaciones*

	<b>COP</b>	<b>%</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Tiempo (min)</b>
<b>Ahorro en el lote</b>	\$ 34.139	74,10	5,67	340,20
<b>Ahorro por litro</b>	\$ 76	74,10	0,01	0,76

Comparando los ahorros de la tabla 14 (últimas modificaciones) con los presentados en la tabla 11 (primeras modificaciones), se puede apreciar que los generados con la última configuración son más representativos tanto en tiempo como en dinero que los obtenidos con las modificaciones iniciales. Por esta razón, la última configuración del sistema de agitación se convierte, en definitiva, utilizando un agitador de palas inclinadas a 45 grados, el motorreductor y el variador de velocidad. El sistema puede estar sujeto a modificaciones futuras según lo decidan los directivos de la empresa.

### **3.3 ENVASADO**

Una vez finalizada la etapa de mezclado y con el producto terminado, este se debe envasar en las distintas presentaciones ofrecidas al cliente por la empresa: 1 litro, 5 litros y 20 litros.

El sistema de envasado de la empresa es totalmente manual. El tanque mezclador cuenta con una tubería de desagüe localizada en la parte inferior del mismo y acoplada a una válvula (mostrado en la figura 11), la cual el operario abre y cierra para realizar el dosificado de producto. A continuación, se muestran tiempos y costos actuales de este proceso para el jabón líquido, discriminado por el tipo de recipiente trabajado.

Tabla 15. Tiempos y costos para envases de 1 litro

<b>1L</b>	
Tprom por envase (s)	45
Tiempo total (h)	0,67
Tiempo en minutos	40,2
Cantidad de unidades	50
Rendimiento (envases/hora)	74,6
Costo por nómina (COP)	\$ 3.741,28
Costo por envase (COP)	\$ 74,83

Tabla 16. Tiempos y costos para envases de 5 litros

<b>5L</b>	
Tprom por envase (s)	33,5
Tiempo total (h)	0,67
Tiempo en minutos	40,2
Cantidad de unidades	40
Rendimiento (envases/hora)	59,7
Costo por nómina (COP)	\$ 3.741,28
Costo por envase (COP)	\$ 93,53

Tabla 17. Tiempos y costos para envases de 20 litros

<b>20L</b>	
Tprom por envase (s)	151
Tiempo total (h)	0,5
Tiempo en minutos	30
Cantidad de unidades	20
Rendimiento (envases/hora)	40,0
Costo por nómina (COP)	\$ 2.792,00
Costo por envase (COP)	\$ 139,60



*Figura 11. Sistema de dosificación manual utilizado para dosificar en producto en los envases*

El estudio de esta etapa del proceso continúa con la identificación de necesidades particulares descritas anteriormente en la sección 2. Después de recibir propuestas y cotizaciones de diversos fabricantes, se decidió trabajar con una empresa local con experiencia en la dosificación de líquidos viscosos como el jabón líquido. Se recibieron las siguientes propuestas de características para la máquina envasadora:

- Inicialmente la máquina semi automática contaría con dos boquillas dosificadoras (únicamente para 1 L y 5L), con la opción de adaptar una tercera a futuro, sin necesidad de modificar el sistema de bombeo y dosificado.
- Para iniciar el dosificado de producto, las boquillas deben entrar en las botellas hasta cierto punto, conforme el nivel de producto dentro de la botella aumente, la boquilla comienza a salir de la misma; esta es la principal estrategia para evitar la generación de espuma.
- La máquina cuenta con un sistema de retorno de espuma que va desde las boquillas hasta el fondo del tanque mezclador.

- El sistema de alimentación de la dosificadora no puede ser por gravedad debido a que el tanque mezclador no cuenta con la elevación necesaria para esto. Para evitar la generación de espuma, la máquina debe contar con un sistema de bombeo alimentado por una bomba especial, ya sea de engranajes o de diafragma.

El equipo cotizado con las anteriores especificaciones quedó pendiente para el proceso de evaluación de funcionamiento con los productos de la empresa.

### 3.3.1 Lavado de Envases

Debido a la naturaleza manual del proceso de envasado y de la viscosidad de los productos, la apertura y cierre de la válvula dosificadora se vuelve imprecisa respecto a la dosificación de producto, por lo cual es común que en los recipientes de 1 litro se derrame un poco de producto al final de la dosificación, esto se convierte en una no conformidad ya que el recipiente no estaría limpio en su exterior y la etiqueta no podría adherirse a la botella correctamente. Debido a esto, se genera una etapa adicional, en el cual los envases deben ser lavados antes del proceso de etiquetado. Este proceso adicional, demanda recursos, los cuales se muestran a continuación:

*Tabla 18. Recursos invertidos en el lavado externo de botellas de 1 litro*

Tiempo (h)	0,5
Unidades	40
Costo total (COP)	\$ 2.792
Costo por unidad (COP)	\$ 70

### 3.4 MEDICIÓN DE pH

En el proceso de mezclado, la medición de pH es de vital importancia, ya que el producto final debe estar en un rango de entre 8-8,4 en la escala de acidez para no maltratar la piel del usuario. Ciertas materias primas, también deben ser adicionadas en un rango de pH neutro para no deteriorarse en el proceso y mezclarse correctamente con el resto de los productos sin perder sus

propiedades. Además, una lectura de valores iguales de acides iguales para muestras de varios puntos del tanque, es un indicador de que el proceso de mezcla es eficiente.

Al inicio de la práctica, la toma de esta propiedad presentaba ciertos inconvenientes. La medición de pH del producto en el tanque mezclador, debe hacerse con muestras de la parte inferior y superior del mismo, esto para comprobar que la mezcla sea homogénea en todo el tanque. Inicialmente se presentaba un mezclado deficiente, por lo cual los valores de pH presentaban variaciones entre la parte inferior y superior del tanque. Adicionalmente el equipo medidor presentaba desgaste excesivo, además de ocasionales errores de medición y calibración. En el transcurso de la práctica se hace necesaria la adquisición de un nuevo equipo para realizar esta tarea. Después de recibir diversas cotizaciones, se decide adquirir el equipo EDGE de Hanna Instruments, ya que es el que más se ajusta a las necesidades.



Figura 12. Medidor de pH EDGE de Hanna Instruments. Recuperado de <https://colombia.bioweb.co/products/medidor-de-ph>

Con este nuevo equipo y las mejoras en el proceso de mezclado, los valores de pH en la parte inferior y superior del tanque arrojaban los mismos valores, dejando resueltos los problemas de

esta etapa del proceso. La calibración de este equipo se realiza de manera sencilla, además, el equipo indica cuando debe ser calibrado. Para conservar la vida útil del equipo, se debe seguir tomando la medición de pH en una solución con 10% de volumen de producto, además de seguir las recomendaciones de cuidado y limpieza dadas por el vendedor.

### 3.5 CODIFICADO

Esta etapa comprende el marcado de las etiquetas con el lote de producción, para llevar seguimiento y control de inventario de productos. Este proceso se realiza de manera manual en la etiqueta con la máquina loteadora mostrada en la figura 13 y antes de adherirlas a los envases.



*Figura 13. Máquina loteadora HP 280 utilizada en la empresa*

En la búsqueda por tener un proceso de codificado semiautomático y con un costo operativo más bajo, se tuvieron en cuenta las necesidades de la empresa y se solicitó la asesoría de empresas

como Luvaga SAS y Embopack, realizando esta última demostración del funcionamiento de algunos de sus equipos, sin embargo, estos equipos requerían un costo de operación mayor al del equipo actual, por lo cual adquirir este equipo no es viable financieramente. Los demás equipos ofrecidos que presentan un costo de operación menor al actual trabajan con tecnologías demasiado sofisticadas y costosas (Inkjet) y demandan una inversión inicial demasiado alta para la situación actual de la empresa. Por esta razón se decide invertir recursos en los demás procesos denominados “cuellos de botella” y/o de situación crítica, como lo son el mezclado, envasado y hasta la medición de pH. Únicamente para un futuro en donde la producción de la empresa aumente a gran escala, y las etapas denominadas cuello de botella se encuentren en buen estado, se vuelve viable intervenir esta etapa.

### 3.6 RESULTADOS EN EL PROCESO GLOBAL

Para tener una idea más clara del impacto que tuvieron las modificaciones ejecutadas en este proyecto, se hace una comparativa del proceso de producción global al inicio y fin de la práctica. Teniendo en cuenta las condiciones finales de cada etapa del proceso al momento de finalizar la práctica, los resultados globales de las recomendaciones propuestas y ejecutadas para un lote de 450 litros son los siguientes:

*Tabla 19. Tiempo de respuesta a inicio y fin de la práctica*

<b>TIEMPO DE RESPUESTA LOTE 450 LITROS</b>	
Inicial (h)	25,83
Actual (h)	12,67

El tiempo de respuesta hace referencia al tiempo invertido desde que los funcionarios emiten la orden de producción de lote, hasta que el producto terminado es almacenado en la zona dispuesta para tal fin. A continuación, se muestra el ahorro generado en el tiempo de respuesta, generado por las modificaciones realizadas durante la práctica.

Tabla 20. Ahorro generado en el tiempo de respuesta

Ahorro	Horas	%
	13,16	50,95

A continuación, se muestran los costos operativos para el proceso de producción de jabón líquido tanto al inicio como al fin de la práctica, además de los ahorros generados. No se muestran resultados finales para el detergente, debido a que no fue posible tomar datos en la cadena de producción al final de la practica en la elaboración de este producto.

Tabla 21. Costos operativos al inicio de la práctica

ESTADO INICIAL	
Concepto	Costo (COP)
Tiempo de trabajo del operario	\$ 96.770,72
Mezclado (energía)	\$ 4.190,90
Desionizadora (energía)	\$ 544,35
Loteadora (energía)	\$ 56,51
<b>Costo total</b>	<b>\$ 101.562,48</b>
Cantidad en litros	\$ 450,00
<b>Costo por litro</b>	<b>\$ 225,69</b>

Tabla 22. Costos operativos al final de la práctica

ESTADO ACTUAL	
Concepto	Costo (COP)
Tiempo de trabajo del operario	\$ 66.058,72
Mezclado (energía)	\$ 1.713,57
Desionizadora (energía)	\$ 0,00
Loteadora (energía)	\$ 56,51
<b>Costo total</b>	<b>\$ 67.828,80</b>
Cantidad en litros	450,00
<b>Costo por litro</b>	<b>\$ 150,73</b>

Tabla 23. Ahorro generado en el costo operativo

	COP	%
<b>Ahorro por lote</b>	\$ 33.733,68	33,21
<b>Ahorro por litro</b>	\$ 74,96	33,21



Según la tabla 23, la cual presenta los ahorros en el proceso de producción global, se puede afirmar que las modificaciones ejecutadas fueron positivas ya que produjeron ahorros de tiempo y dinero.

### 3.7 PRESUPUESTO EJECUTADO POR LA EMPRESA

La siguiente tabla muestra información acerca del presupuesto ejecutado por la empresa para asumir las modificaciones que fueron sugeridas e implementadas a través del desarrollo de la práctica.

*Tabla 24. Gastos por concepto de modificaciones y adquisición de equipos*

Producto	Costo (COP)
Motorreductor	\$ 1.547.000,00
pH metro	\$ 1.421.148,00
Agitador nuevo	\$ 270.000,00
Sistema de filtrado de agua	
TOTAL	\$ 3.238.148,00

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

Durante la realización de esta práctica se realizaron las siguientes actividades:

- Propuesta y evaluación de acciones de mejoramiento al proceso de mezclado y envasado de la empresa.
- Se identificaron las acciones necesarias para mejorar la eficiencia de la máquina y del proceso.
- Realización de estudios y propuestas para automatizar la etapa de envasado.
- Generación de indicadores de producción de las etapas de mezclado y envasado para medir el efecto de las acciones de mejora ejecutadas.
- Adquisición de habilidades y competencias importantes para el desarrollo profesional y personal, como liderazgo, actividades de investigación, comunicación entre personal y administrativos.
- Puesta en práctica de conocimientos adquiridos durante el pregrado, en asignaturas como: máquinas hidráulicas, mecánica de fluidos y bases procesos de producción.
- Aprendizaje básico acerca del proceso de fabricación de jabones y detergentes líquidos.

Adicionalmente:

- Si bien las primeras modificaciones representaron ahorros de dinero en el proceso de mezclado de 20.455 COP por lote y 45 COP por litro (44%), las últimas modificaciones aportaron más beneficios ya que el ahorro que se logró fue de 34.139 COP por lote y 76 COP por litro (74%) en el caso del jabón líquido lava loza.
- Si bien las primeras modificaciones representaron ahorros de tiempo en el proceso de mezclado de 3,33 horas por lote, las últimas modificaciones aportaron más beneficios ya que el ahorro que se logró fue de 5,67 horas por en el caso del jabón líquido lava loza.

- Para el proceso de llenado de agua del tanque mezclador, los ahorros generados fueron de 6,75 horas y 544,45COP de consumo de energía eléctrica por lote.
- La mejora en la calidad de la mezcla se ve reflejada tanto en el tiempo de esta como en la consistencia en el valor del pH, ya que este valor en todos los casos era el mismo en la parte superior e inferior del tanque.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- En una proyección a futuro, se recomienda utilizar tanque de almacenamiento para el agua filtrada para luego trasegarla hasta el tanque de mezclado con una bomba centrífuga. Así el tiempo de respuesta por lote va a disminuir.
- Realizar mantenimiento preventivo al sistema de filtración según el periodo de tiempo sugerido por el fabricante (8 días) y así prolongar tanto la vida útil del sistema como su nivel de producción.
- Realizar pruebas de conductividad al agua desionizada utilizada para productos no viscosos, empleando el medidor de pH, esto para comprobar que una deficiencia producida por la máquina no sea la causa de la aparición de cuerpos extraños en los productos al pasar cierta cantidad de tiempo.
- Trabajar con el variador de velocidad en un rango desde 40 Hz hasta 75 Hz para evitar pérdidas de potencia y deficiencias en el sistema de ventilación del motor eléctrico considerables
- Procurar a no cambiar de proveedor de las materias primas (ácido sulfónico y soda caustica) ya que los valores de pH de estas pueden cambiar, con lo cual las proporciones en la fórmula de los productos no sería la adecuada.
- Si se desean realizar modificaciones al sistema de mezclado, procurar que estas propuestas tengan soporte teórico o experimental. Además, adoptar estas medidas inicialmente de manera provisional para evaluar sus efectos antes de volverlas definitivas.
- Llevar de manera adecuada el control de las muestras de retención de los lotes fabricados para realizar seguimiento de los posibles defectos que puedan aparecer en los productos con el paso del tiempo.
- Realizar mantenimiento preventivo al motorreductor según las indicaciones del fabricante.

- Utilizar el medidor de pH según las instrucciones de manejo y cuidado indicadas por el fabricante
- Mantener en constante estudio del proceso de producción, generar propuestas de mejora y evaluarlas.

## Bibliografía

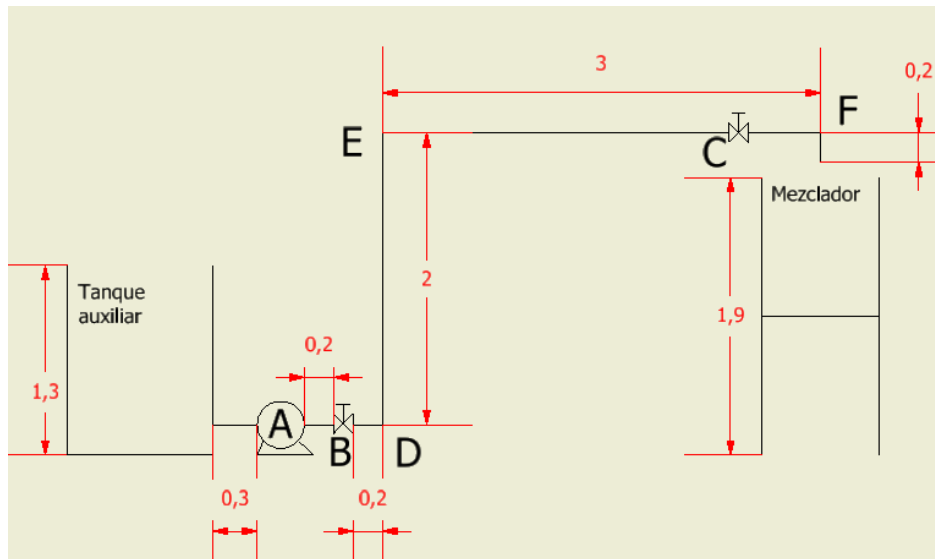
- [1] HELMUT SY CORVO. (2020). *Indicadores de Producción: Principales Indicadores y Ejemplos*. Colombia. Web Site: <https://www.lifeder.com/indicadores-produccion/>
- [2] CASTILLO URIBE, VLADIMIR. (2013). *Diseño y Cálculo de un Agitador de Fluidos*. Concepción, Chile: Universidad del Bío Bío. Web Site: [http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo\\_Urbe\\_Vladimir.pdf](http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo_Urbe_Vladimir.pdf)
- [3] MC. CABE, WARREN L; SMITH, JULIAN C; HARRIOT, PETER (1991). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. Cuarta edición. Madrid, España. McGraw-Hill Interamericana de España, S. A. U. [Online]. Website: <https://ingenieriapetroquimicaunefazulia.files.wordpress.com/2011/05/operaciones-unitarias-a.pdf>
- [4] LEVY, HERNÁN. (2017). *Refrigeración de Motores Eléctricos*. Web Site: [https://issuu.com/m3h-guiadebombas/docs/nt\\_-\\_refrigeraci\\_\\_n\\_en\\_motores\\_el\\_\\_](https://issuu.com/m3h-guiadebombas/docs/nt_-_refrigeraci__n_en_motores_el__)
- [5] RINCÓN GUERRERO, JULIAN EDUARDO (2017). *Diseño de una máquina mezcladora, automática, de materias primas para la elaboración de jabones líquidos, suavizantes y desengrasantes industriales, para la empresa Químicos Zorel*. Bogotá, Colombia: Fundación Universitaria de América. Web site: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6501/1/4111332-2017-2-IM.pdf>
- [6] GUERRERO GONZÁLEZ, CARMEN E (2014). *Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados*. Almería, España: Escuela Politécnica Superior. Web site: <http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/3371/Proyecto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- [7] *Bomba LX WPP100 1HP – Performance curves*. Web site: <https://es.aliexpress.com/item/1016161692.html>
- [8] YUNUS A, CENGEL; M. JOHN (2004). *Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones. Tabla A3-Propiedades del agua saturada*. México, D.F. McGraw-Hill. Web site: <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-centroamericana-jose-simeon-canas/fisica/otros/mecanica-de-fluidos-fundamentos-y-aplicaciones-yunus-cengel-y-john-cimbala-primer-edicion/3648605/view>
- [9] *Computer Applications in Hydraulic Engineering*. Quinta edición, Haestad Methods. Web site: <https://es.slideshare.net/cosmeacr/coeficientes-de-rugosidad-haestad>
- [10] ALREN. *Ventilación independiente*. Molina de Segura, Murcia, España. Web site: <https://alren.es/documentacion/disenio-mecanico/ventilacion-independiente/>
- [11] WE AUTOMATION (2015). *Cálculo De Número De Polos De Un Motor De Inducción Trifásico*. Web site: <http://www.weautomation.net/2013/01/calculo-del-numero-de-polos-del-motor.html>
- [12] RICAURTE FREIRE, LUIS EDUARDO (2016). *Diseño y simulación de un tanque mezclador de 10,000 gal para la elaboración de aceites lubricantes*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica Del Litoral. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Web site: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/96642/D-CD88467.pdf>

# ANEXOS

Para la etapa de llenado de agua del tanque mezclador

#### Anexo A. Sistema de bombeo planteado para la empresa



Todas las medidas están expresadas en metros. A es la bomba centrífuga, B y C son válvulas de globo. D, E Y F con codos de radio largo. La tubería de diseño es de PVC de 1,5 pulgadas. A continuación, se muestran los cálculos realizados para verificar que este sistema planteado funciona según las necesidades de la empresa.

Planteando la ecuación de energía entre el tanque auxiliar (1) y el tanque mezclador (2):

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_B = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_{tub} + H_{acc}$$

P: presiones manométricas (Pa)

$\gamma$ : peso específico ( $N/m^3$ )

V: velocidad (m/s)

g: aceleración de la gravedad

Z: altura (Z1=1,9m y Z2=1,3m)

HB: cabeza de la bomba

H<sub>tub</sub>: pérdidas primarias o por longitud de tubería

H<sub>acc</sub>: pérdidas secundarias o por accesorios

$$H_{tub} = \left(f * \frac{L}{D}\right) * \frac{v^2}{2g}$$

f: factor de fricción o rozamiento

L: longitud de tubería

D: diámetro de la tubería

v: velocidad del fluido a través de la tubería

g: aceleración de la gravedad

$$H_{acc}: \sum K * \frac{v^2}{2g}$$

K: constante para los accesorios utilizados en el sistema

v: velocidad del fluido a través de la tubería

g: aceleración de la gravedad

Como los tanques son abiertos a la atmósfera, las presiones manométricas tienen un valor de cero. Al tratarse de depósitos, se asume que las velocidades del fluido en ellos son cero, debido a que son despreciables comparadas con las otras presentes en el sistema.

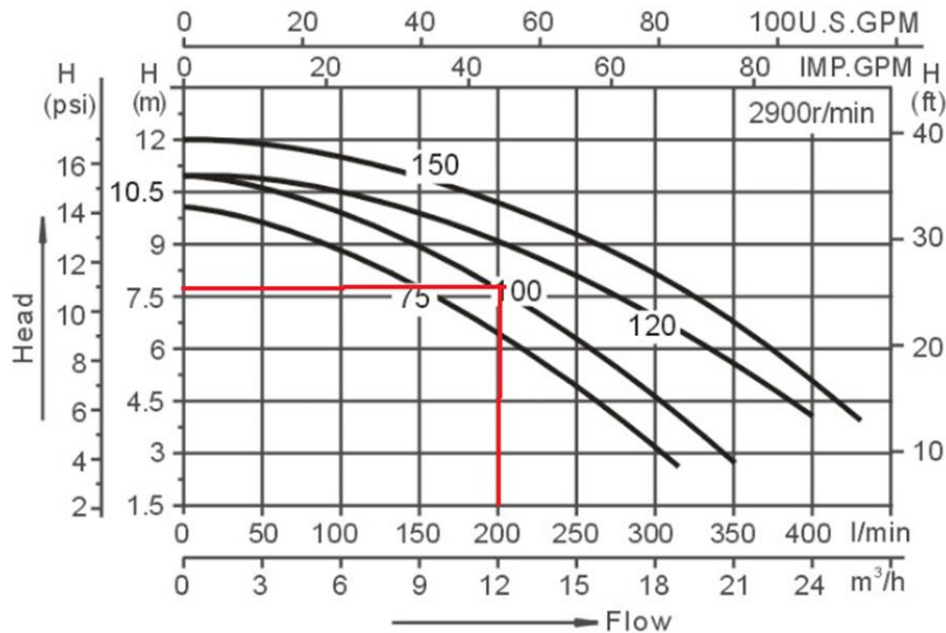
Por lo tanto, se tiene que



$$H_B = Z_2 - Z_1 + \left(f * \frac{L}{D}\right) * \frac{v^2}{2g} + \Sigma K * \frac{v^2}{2g}$$

Primero se indaga acerca de las condiciones de operación de la bomba

Anexo B. Curva cabeza contra caudal para la bomba centrífuga de la empresa



La curva de la bomba disponible en la empresa es la “100”. Se sugiere utilizar la válvula de regulación B para trabajar lo más cercano posible al PMO (Punto de Mejor Operación, señalado en rojo) que en este caso es a un caudal de 200L/min. A continuación, se realizan los cálculos para dicho punto de operación de la bomba en el sistema. Calculando la cabeza que debe ser vencida para poder trasegar el fluido:

Asumiendo que la bomba trabaje en el PMO, con un caudal de 200 L/min, se convierte a  $m^3/s$

$$200 \frac{L}{min} * \frac{1 min}{60 s} * \frac{1 m^3}{1000 L} = 3,33 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

Hallando la velocidad del fluido a través de la tubería

$$V = \frac{Q}{A}$$

V: velocidad del fluido (m/s)

Q: caudal que pasa por la tubería ( $m^3/s$ )

A: área de la tubería

$$A = \pi * r^2$$

r: radio de la tubería (m)

$$V = \frac{3,33 \times 10^{-3} m^3/s}{\pi * (\frac{0,0381 m}{2})^2} = 2,92 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{v * \rho * D}{\mu}$$

Re: número de Reynolds

v: velocidad del fluido (m/s)

$\rho$ : densidad del fluido ( $kg/m^3$ )

D: diámetro de la tubería (m)

$\mu$  : viscosidad dinámica ( $Pa*s$ )

Las propiedades del agua son calculadas a una temperatura de 20 grados Celsius.

$\rho$ :  $998 \text{ Kg}/m^3$

$\mu$ :  $0,001002 \text{ Pa*s}$  o  $\frac{kg}{m*s}$

Propiedades obtenidas de la tabla A-3 “propiedades del agua saturada” del libro Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones por Yunus A. Cengel y John M. primera edición- página 888. [8]

$$Re = \frac{2,92 \frac{m}{s} * 998 \frac{kg}{m^3} * 0,00381m}{0,001002 Pa*s} = 1,1 \times 10^{-5}$$

Ahora se necesita hallar el factor de fricción con el diagrama de Moody, pero primero es debido encontrar el valor de rugosidad relativa

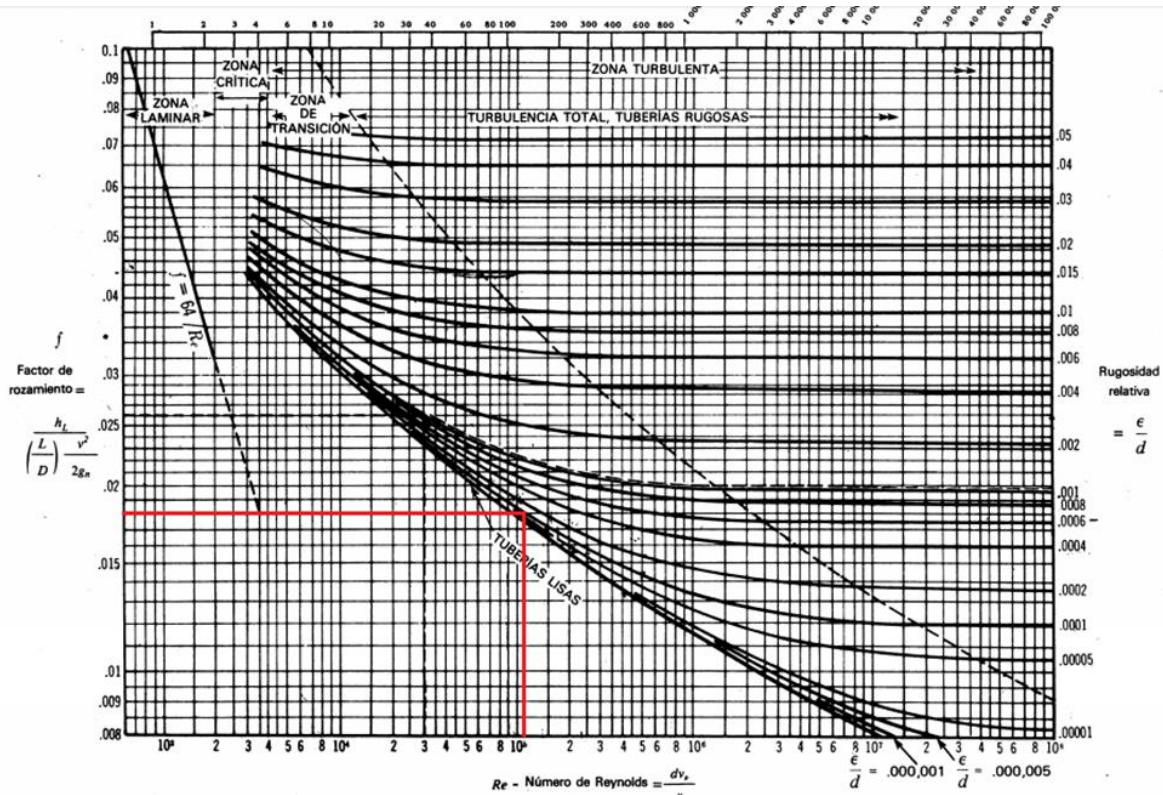
$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{\varepsilon}{D}$$

$\varepsilon$ : rugosidad absoluta de la tubería

Para el PVC,  $\varepsilon = 0,0015 \text{ mm}$ . (Fuente: Computer Applications in Hydraulic Engineering, 5th Edition, Haestad Methods) [9]

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0015 \text{ mm}}{38,1 \text{ mm}} = 0,000039$$

### **Anexo C. Diagrama de Moody**



El diagrama de Moody fue extraído de CRANE- Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías. México: McGraw-Hill, 1990. A-22b. Factores de fricción para cualquier tipo de tubería comercial.

Teniendo el valor del número de Reynolds y de la rugosidad relativa, con ayuda del diagrama, se determina un factor de rozamiento  $f = 0,018$

Hallando los K para los accesorios (tres codos largos y una válvula de globo)

K para codo atornillado de 1,5 pulgadas a  $90^\circ$  de radio largo = 0,7. Obtenido de: Tabla 4<sup>a</sup>. Coeficientes de resistencia para válvulas y conexiones. (DE “pipe Friction Manual”. 3<sup>a</sup> ed. Copyright 1961 por Hydraulic Institute. Cleveland. Ohio.

K para válvula de globo de 1,5 pulgadas atornillada = 7

Retomando la ecuación de HB

$$HB = 1,9m - 1,3m + (0,018 * \frac{6,1m}{0,0381m}) * \frac{(2,92m)^2}{2*9,81\frac{m}{s^2}} + (7 + 0,7 * 3) * \frac{(2,92m)^2}{2*9,81\frac{m}{s^2}}$$

$$HB = 5,80m$$

Este valor de HB es la cabeza que la bomba debe vencer para trasegar el agua con un caudal de 200L/min. Ahora, calculando el punto de operación de la bomba:

Curva del sistema:

$$H_{sist} = H_{est} + K_{per} * Q^2$$

Fuente: Asignatura de máquinas hidráulicas, Universidad Tecnológica de Pereira.

$H_{sist}$  = cabeza del sistema

$H_{est}$  = cabeza estática

$K_{per}$  = factor de pérdidas del sistema

$Q$  = caudal del sistema. Previamente se asumió el caudal del PMO  $Q = 200L/min$  y  $H = 7,7m$

$$H_{est} = P_2 - P_1 + Z_2 - Z_1$$

Como los tanques están abiertos a la atmósfera,  $P_2$  y  $P_1$  son cero.

$$H_{est} = Z_2 - Z_1 = 1,9m - 1,3m = 0,6m$$

Despejando  $K_{per}$  de la ecuación de la cabeza del sistema:

$$K_{per} = \frac{H_{sist} - H_{est}}{Q^2} = \frac{7,7m - 0,6m}{(200\frac{L}{min})^2} = 1,775 \times 10^{-4} \frac{m}{(\frac{L}{min})^2}$$

Con este valor de  $K_{per}$ , se tabulan valores de cabeza y caudal en la ecuación de  $H_{sist}$ .

**Anexo D. Tabulación para  $Q$  y  $H_{sist}$ .**

<b>Q (L/min)</b>	25	50	100	150	200
<b>Hsist (m)</b>	0,71	1,04	2,37	4,6	7,7

Según lo anterior, la bomba debe operar a  $Q=200\text{L/min}$  entregando un  $HB= 7,7\text{m}$ . Debido a que el HB entregado por la bomba (7,7m) es mayor que el HB del sistema (5,80m), se puede concluir que la bomba podrá trasegar el fluido con éxito para la distribución propuesta.

Para la etapa de mezclado:

Primeramente, se debió recurrir a la literatura de mezclado para hacer una comparación entre lo sugerido para esta aplicación y lo que se estaba utilizando. Se deben tener en cuenta las dimensiones del tanque y algunas propiedades del producto.

Diámetro interno del tanque: 0,86m

Altura ocupada por el fluido en el tanque: 0,77m (para 450 litros de producto)-

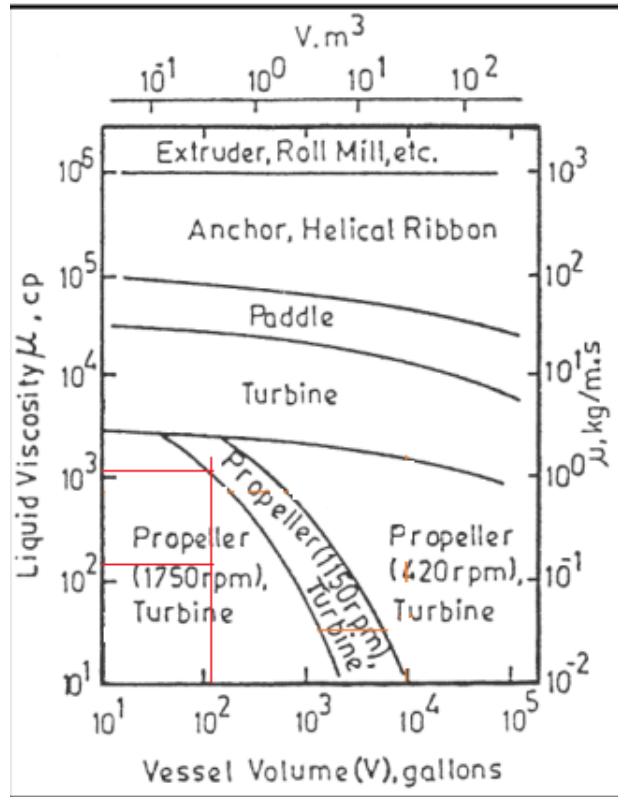
#### **Anexo E. Propiedades para los productos fabricados**

<b>Producto</b>	<b>Densidad <math>\rho</math> (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Viscosidad dinámica <math>\mu</math> ( Pa*s)</b>
<b>Jabón líquido</b>	1023	1,024
<b>Detergente industrial</b>	1010	0,224

Primero se tuvo que definir un tipo de agitador adecuado.

Para determinar el tipo de agitador, Penny (1970) propone una gráfica que tiene el volumen del tanque en un eje horizontal y viscosidad en el eje vertical.

#### **Anexo F. Diagrama para seleccionar el tipo de agitador**

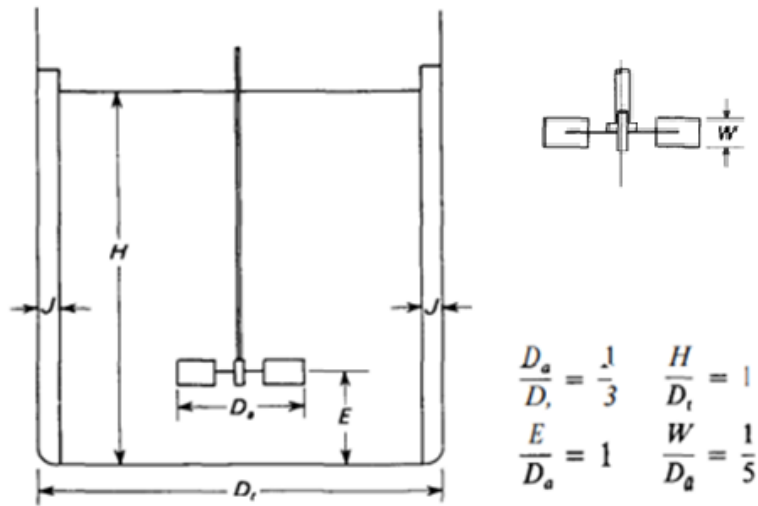


Tomado de Penny (1970).

Según el gráfico, se puede usar un agitador tipo hélice marina o un agitador tipo turbina. Debido a su facilidad de construcción y bajo costo, se decide utilizar un agitador tipo turbina con las hélices inclinadas a 45 grados para generar un flujo tanto tangencial, como radial y vertical. Este tipo de agitadores son eficaces en un amplio rango de viscosidades (hasta 100Pa\*s), especialmente para mejorar la transferencia de calor y homogenizar la mezcla [3]. Este tipo de agitadores suelen trabajar en un rango de 30rpm a 500rpm [5]. Días después se comprobaría con una empresa fabricante de agitadores la validez de este tipo de agitador según las necesidades de mezclado.

Dimensionando el agitador:

## Anexo G. Dimensionamiento para un agitador general



Fuente: Operaciones Unitarias de Ingeniería Química [3].

H: altura de líquido recomendada

$D_t$ : diámetro del tanque

$D_a$ : diámetro del agitador

J: ancho de placas deflectoras

E: altura de las aspas al fondo del tanque

Entonces se tiene:

$$H = 1 \cdot D_t = 1 \cdot 0,86\text{m} = 0,86\text{m}$$

$$D_a = D_t / 3 = 0,86\text{m} / 3 = 0,29\text{m. Se aproxima a } 0,3\text{m}$$

$$E = 1 \cdot D_a = 0,29\text{m}$$

$$J = D_t / 12 = 0,86\text{m} / 12 = 0,072\text{ m}$$

$$W = D_a / 5 = 0,3\text{m} / 5 = 0,058\text{m}$$



Según la aplicación y la relación entre la altura de líquido y el diámetro del tanque, se recomienda usar uno o dos “impellers” por eje.

**Anexo H. Número de agitadores necesarios según la aplicación y la relación (Z/T).**

Mixing System	Maximum Liquid Height, Z/T	Number of Impellers	Impeller Elevation from Tank Bottom	
			Bottom	Top
Liquid blending	1.4	1	Z/3	—
	2.1	2	T/3	2 Z/3
Solids suspension	1.2	1	Z/4	—
	1.8	2	T/4	2 Z/3
Gas dispersion	1.0	1	T/6	—
	1.8	2	T/6	2 Z/3

Z se refiere a la altura de líquido y T al diámetro del tanque. Normalmente los lotes de producción son de 450L, para este caso, la altura de fluido es de 0,77m. En un caso extremo, el volumen de producción por lote sería de 500L, teniendo una altura de 0,86m. Para este último caso:

$$\frac{Z}{T} = \frac{H}{Dt} = \frac{0,86}{0,86} = 1$$

Siendo mezcla de líquidos la aplicación, se tiene que solo es necesario usar un agitador sobre el eje y que este debería estar aproximadamente a H/3 desde el fondo del tanque como ya se había planteado.

Se procede a calcular la potencia necesaria para realzar la mezcla.

$$P = NP * NP^3 * d^5 * \rho$$

P: potencia requerida por el motor (Watts)

NP: número de potencia (adimensional)

d: diámetro del agitador (m)

$\rho$ : densidad del fluido ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

El número de potencia está relacionado con la cantidad de movimiento total del fluido, por lo cual es necesario conocer el régimen de flujo.

$$\text{Re} = \frac{N * D a^2 * \rho}{\mu}$$

Re: número de Reynolds

N: velocidad de rotación del agitador en (revoluciones por segundo)

Da: diámetro del agitador (m)

$\rho$ : densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\mu$ : viscosidad dinámica ( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ )

Según la experiencia con los productos y teniendo en cuenta el tipo de agitador, se decide trabajar en un rango de velocidades de entre 200rpm – 300rpm.

Según la literatura, y teniendo en cuenta que la velocidad sincrónica del motor es de 1200 rpm y su frecuencia nominal es de 60Hz, el motor de la empresa tiene 3 pares de polos [11]

Para hallar la velocidad de rotación según la frecuencia de trabajo se tiene:

$$\omega = \frac{60 * f}{\#pp}$$

w: velocidad angular

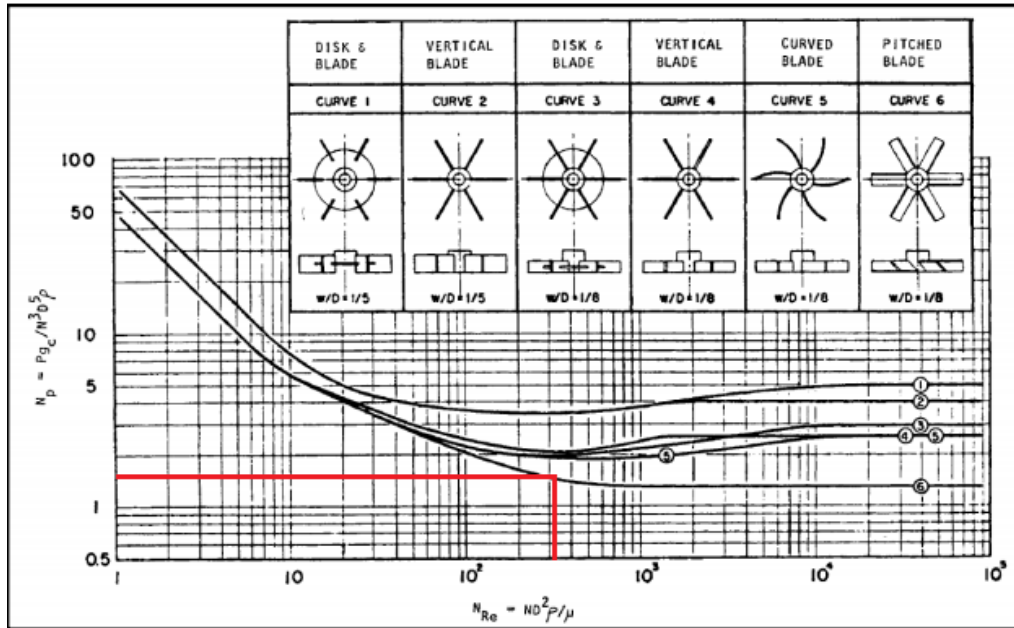
f: frecuencia de trabajo

#pp: número de pares de polos

Para visualizar el procedimiento de calculos, se trabajará con una velocidad de 220 rpm y jabón líquido.

$$Re = \frac{\frac{220}{60} rps * (0,3m)^2 * 1023 \frac{Kg}{m^3}}{1,024 Pa * S} = 329,67$$

#### **Anexo I. Número de potencia contra número de Reynolds para distintos agitadores tipo turbina**



Fuente (Walas, 1990) [12]

Se trabaja con la curva 6 ya que se está usando un agitador de palas inclinadas.

Por lo tanto, se tiene que:

$$NP = 1,8$$

$$P = 1,8 \left( \left( \frac{220}{60} rps \right)^2 * (0,3m)^5 * 1023 \frac{Kg}{m^3} \right) = 220,58 \text{ Watts}$$

Se debe tener en cuenta la eficiencia del motor eléctrico y sus elementos, por tanto la potencia real que necesita el motor debe ser mayor

$$P_m = \frac{P}{0,7}, \text{ Se asume una eficiencia de } 0,7$$

$$P_m = \frac{220,58 \text{ Watts}}{0,7} = 315,11 \text{ Watts}$$

Convirtiendo a HP

$$P_m = 315,11 \text{ Watts} * \frac{1 \text{ HP}}{745,7 \text{ Watts}} = 0,42 \text{ HP}$$

Calculando el torque:

$$t = \frac{Pm}{\omega}$$

t: torque (N\*m)

Pm: Potencia del motor (Watts)

$\omega$ : velocidad angular (rad/s)

Calculando el diámetro mínimo:

Se asume como material, acero con un  $S_y$  de 200 MPa y un factor de seguridad de 2,5. Se asume que el eje está sometido a torque constante y no se tienen en cuenta las fuerzas transversales que causen flexión.

$$d = \left( \frac{16 \sqrt{3} * N}{\pi} * \frac{t}{S_y} \right)^{1/3}$$

#### Anexo J. Condiciones para distintas velocidades de operación para jabón líquido.

Frecuencia (Hz)	rpm	Re	P (KW)	Pm (KW)	Pm (HP)	T (N*m)	d (m)
10	200	299,71	165,73	236,75	0,32	11,30	0,0108
11	220	329,68	220,58	315,12	0,42	13,68	0,0115
12	240	359,65	254,56	363,65	0,49	14,47	0,0117
13	260	389,62	303,42	433,45	0,58	15,92	0,0121
14	280	419,59	378,96	541,37	0,73	18,46	0,0127
15	300	449,56	466,10	665,86	0,89	21,20	0,0133

Teniendo en cuenta esto, el diámetro mínimo permisible debería ser 0,0133m, sin embargo, en la práctica hay que tener en cuenta el material, y que existen las fuerzas transversales y las dimensiones de la flecha del motor al que se acopla el agitador. Teniendo en cuenta de que la potencia maxima supuesta de trabajo para una mezcla adecuada sería de 0,89HP, tomando las pérdidas mecánicas y para tener un rango seguro de trabajo, el motorreductor de 2HP, fue ideal para este caso.

#### Anexo K. Placa del motorreductor adquirido



Para el proceso de medición de pH:

#### Anexo L. Ficha técnica del medidor de pH adquirido

<b>Rango</b>	modo estándar: -2.00 a 16.00 pH, -2.000 a 16.000 pH; $\pm 1000$ mV modo básico: -2.00 a 16.00 pH; $\pm 1000.0$ mV
<b>Resolución</b>	modo estándar: 0.01 pH; 0.001 pH modo básico: 0.1 mV
<b>Precisión (@25°C/77°F)</b>	$\pm 0.01$ pH; $\pm 0.002$ pH; $\pm 0.2$ mV
<b>Puntos de Calibración</b>	5 en modo estándar; 3 in modo básico
<b>Buffers de Calibración</b>	modo estándar: 1.68, 4.01, 6.86, 7.01, 9.18, 10.01, 12.45 y dos buffers personalizados modo básico: 4.01, 6.86, 7.01, 9.18, 10.01
<b>Compensación de Temperatura</b>	ATC (-5.0 to 100.0°C; 23.0 to 212.0°F)*
<b>Diagnósticos de Electrodo</b>	modo estándar: estado de la sonda, tiempo de respuesta y fuera del rango de calibración Diagnósticos de vidrio y unión de referencia (solo HI 11311 y HI 12301)